

$$M_{\varphi} = \frac{\rho \cdot \omega^2 h^2 r_o^3}{2fn} \left\{ \frac{1}{3} \left(\left(\frac{R}{r_o} \right)^3 - 1 \right) - \frac{1}{2} \left(\left(\frac{R}{r_o} \right)^2 - 1 \right) \cdot \frac{g}{r_o \omega^2} (\sin \alpha \cos \varphi + f \cos \alpha) + \right. \\ \left. + \frac{h}{r_o fn} \right\} + \left(\frac{R}{r_o} - 1 \right) \cdot \frac{h}{2r_o fn} \left(\frac{h}{r_o \cdot fn} + \frac{g}{r_o \omega^2} (\sin \alpha \cos \varphi + f \cos \alpha) \right) + \left(1 - e^{-\frac{2fn}{h}(R-r_o)} \right) \cdot \\ \left(\frac{\sigma_o}{\rho \omega^2 r_o} + C^* \frac{h}{2fnr_o^2} \right) \quad (13)$$

де $\sigma_o = \sigma_{r_o}(\varphi)$

$\varphi = \gamma$ - початковий кут.

Результати проведенного дослідження дають можливість визначити оптимальні параметри роторних і роторно-кулісних машин

Література

1. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. -М.: Машиностроение. 1964.- 251с.
2. Патент України №1696 МКВ 5В65В1/ 00 Пристрій для затарювання клапанних мішків сипучим матеріалом (О.В. Оришака, В.О. Оришака, О.П. Момот, А.А. Ткач, та інші).- № 4752700. Заяв. 25.10.89, надр. 25.10.94 Бюл № 3.

УДК 621.798.38

О.В.Оришака, В.В.Гончаров,
Г.В.Кравцова, А.М.Артюхов.

Динаміка руху сипкого матеріалу по криволінійним каналам змінного перерізу.

Машини роторного типу, які використовуються для завантаження сипких матеріалів енергоємні і ненадійні в роботі. В запропонованому нам постачальному пристрою роторно-кулісного типу ліквідовані ці недоліки. Для обґрунтування параметрів роторно-кулісного постачального пристрою необхідно розробити математичну модель руху масиву сипкого матеріалу по каналам пристрою.

В машинах для завантаження сипких матеріалів у клапанні мішки кулісно-роторного типу матеріал здійснює рух по криволінійним каналам змінного перерізу.

Розглянемо динаміку руху стислого сипкого матеріалу по криволінійному каналу змінного перерізу, який утворений двома ексцентрично розташованими циліндрами із радіусами r_o та R і двома паралельно розташованими плоскими стінками. Матеріал рухається під дією лопаті A , яка шарнірно закріплена на осі, розташованій у центрі циліндра R , і рухається під дією циліндра r_o (ротора), що обертається з

постійною кутовою швидкістю ω (див. рис.). Канал розташований горизонтально.

За основу динамічної характеристики вибирається внутрішній тиск у матеріалі.

Знаходження закону розподілу $\sigma = (r, \varphi)$, де r та φ - полярні координати, розбивається на дві частини.

В першій частині визначається розподіл:

$$\sigma = \sigma(r, \varphi) / \varphi = \text{const};$$

а в другій:

$$\sigma = \sigma(r, \varphi) / r = \text{const}.$$

Для знаходження $\sigma = \sigma(r, \varphi)$, розглянемо статичну задачу рівноваги елемента матеріалу, який знаходиться у секторі з кутом $d\omega$ і шириною

$$\sum F_i = 0 \quad (1)$$

де $\sum F_i$ - сума сил, які діють на виділений елемент.

Він знаходиться під дією сил:

- центробіжної:

$$F_1 = dm \omega_R^2 r_c \quad (2)$$

де dm - маса елемента;

ω_R - кутова швидкість лопаті;

ω - кутова швидкість ротора;

r_c - радіус центра ваги;

- сили тиску на внутрішній радіус:

$$F_2 = \sigma h d\varphi \cdot r \quad (3)$$

де σ - тиск на внутрішньому радіусі;

h - висота елемента;

- сили тиску на зовнішній радіус:

$$F_3 = (\sigma + d\sigma) h d\varphi (r + dr) \quad (4)$$

- сили тертя від ваги:

$$F_4 = dm g f \quad (5)$$

де f - коефіцієнт тертя сипкого матеріалу;

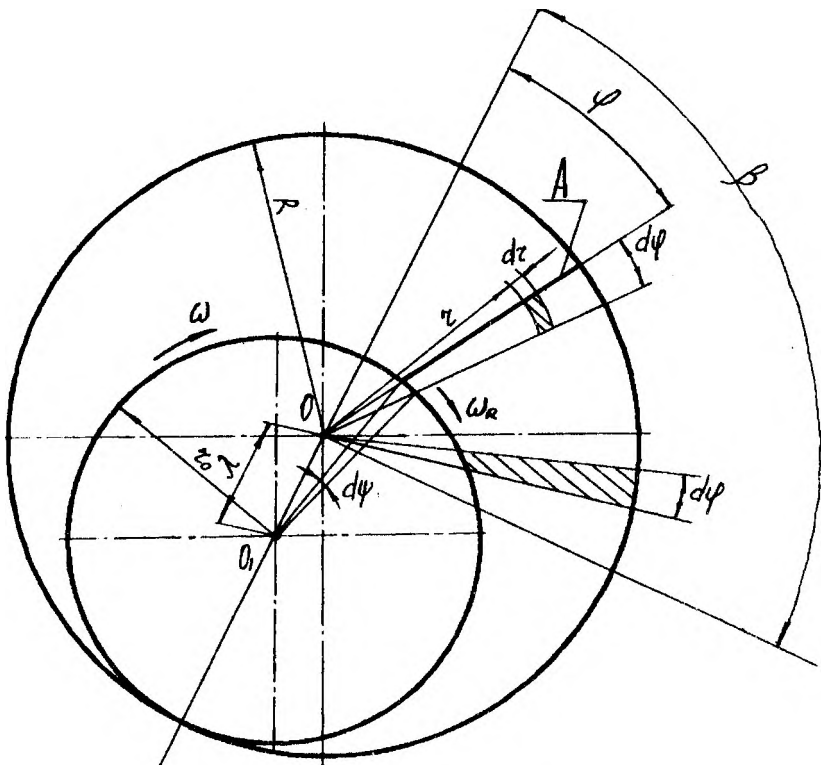


Рис. Розрахункова схема

- сили тертя на горизонтальних поверхнях від сили тиску:

$$F_3 = \sigma n r f d\varphi dr \quad (6)$$

де n - коефіцієнт бокового розпору [1].

Таким чином маємо:

$$F_1 + F_2 - F_3 - F_4 - 2F_5 = 0 \quad (7)$$

або:

$$dm \omega_k^2 \cdot r_4 + \sigma h d\varphi \cdot r - (\sigma + d\sigma) h d\varphi (r + dr) - dm g f - 2\sigma n r f d\varphi dr = 0 \quad (8)$$

Враховуючи, що:

$$dm = \rho h r dr d\varphi; \text{ та } r_u = r + \frac{dr}{2},$$

де ρ - густина матеріалу, одержимо:

$$\begin{aligned} h r dr d\varphi \rho \omega_R^2 \left(r + \frac{dr}{2} \right) - d\sigma h r d\varphi - \sigma h d\varphi dr - h r \rho g f dr d\varphi - \\ - 2\sigma n r f dr d\varphi = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Після приведення подібних та розділення змінних, отримаємо;

$$\frac{d\sigma}{dr} + \sigma \left(\frac{1}{r} + \frac{2nf}{h} \right) = \rho \omega_R^2 \cdot r - \rho g f \quad (10)$$

Останнє рівняння є лінійне диференціальне рівняння першого порядку відносно функції $\sigma = \sigma(r)$, яке інтегрується у квадратурах:

$$\sigma = e^{\int \left(\frac{1}{r} + \frac{2nf}{h} \right) dr} \left(C + \int \left(\rho \omega_R^2 \cdot r - \rho g f \right) \cdot e^{\int \left(\frac{1}{r} + \frac{2nf}{h} \right) dr} \cdot dr \right) \quad (11)$$

Інтеграли, які входять у (11) обчислюються в аналітичному вигляді. Після спрощення маємо:

$$\sigma = C \cdot \frac{1}{r} e^{\frac{2nf}{h} r} + \frac{\rho h}{2nf} \left(\omega_R^2 \cdot r - g f - \frac{h \omega_R^2}{nf} + \frac{1}{r} \left(\frac{hg}{2n} + \frac{h^2 \omega_R^2}{2n^2 f^2} \right) \right) \quad (12)$$

Сталу C знайдемо з граничної умови:

$$\sigma = \sigma_0 \text{ при } r = R \quad (13)$$

З (12), (13) маємо:

$$C = \left(\sigma_0 - \frac{\rho h}{2nf} \left(\omega_R^2 - g f - \frac{h \omega_R^2}{nf} + \frac{1}{R} \left(\frac{hg}{2n} + \frac{h^2 \omega_R^2}{2n^2 f^2} \right) \right) \right) \cdot R \cdot e^{\frac{2nf}{h} R} \quad (14)$$

Або

$$C = \sigma_0 R \cdot e^{\frac{2nf}{h} R} - \frac{\rho h}{2nf} C \cdot \quad (15)$$

де

$$C^* = \left(\omega_R^2 R - gf - \frac{h \omega_R^2}{nf} + \frac{1}{R} \left(\frac{hg}{2n} + \frac{h^2 \omega_R^2}{2n^2 f^2} \right) R \cdot e^{\frac{2nf}{h} R} \right)$$

Таким чином:

$$\sigma(r) = \sigma_0 \frac{R}{r} e^{\frac{2nf}{h}(R-r)} - \frac{\rho h C^*}{2nfr} e^{\frac{-2nf}{h}r} + \frac{\rho h}{2nf} \left(A_1 r + A_2 + \frac{A_3}{r} \right) \quad (16)$$

де:

$$A_1 = \omega_R^2$$

$$A_2 = -gf - \frac{h \omega_R^2}{nf}$$

$$A_3 = \frac{hg}{2n} + \frac{h^2 \omega_R^2}{2n^2 f^2}$$

Співвідношення (16) дає залежність внутрішнього тиску σ від радіуса r і від тиску σ_0 на зовнішньому корпусі постачального пристрою (зовнішній циліндр).

Розглянемо розподіл тиску в напрямку руху, тобто по куту φ . Зпишемо закон рівноваги при обертальному русі:

$$\sum M_i = \mathfrak{I} \epsilon^2 \quad (17)$$

де $\sum M_i$ - сума моментів сил, діють на виділену ділянку;

\mathfrak{I} - момент інерції данної ділянки;

ϵ - кутове прискорення.

Або:

$$-M_1 + M_2 + M_3 + 2M_4 + M_5 \pm M_6 \pm M_7 = -\mathfrak{I} \epsilon^2 \quad (18)$$

де M_1 - момент сили тиску на грань, розташовану під кутом α ;

M_2 - момент сили тиску на грань, розташовану під кутом $\alpha + d\varphi$;

M_3 - момент сили тертя від ваги виділенї ділянки;

M_4 - момент сили тертя від внутрішнього тиску на нижню і верхню грані;

M_5 - момент сили тертя від внутрішнього тиску на зовнішньому циліндрі;

M_6 - момент сили опору від звуження (розширення - знак " - ") каналу;
 M_7 - момент сили опору об'ємного стиснення (розширення) матеріалу;

$$M_1 = \int_r^R \sigma r d h r = h \left[\sigma_0 R \frac{h}{2nf} \left(e^{\frac{2nf}{h}(R-r)} - 1 \right) + \frac{\rho h^2}{4n^2 f^2} C^* \left(e^{\frac{-2nf}{h} R} - e^{\frac{-2nf}{h} r} \right) + \frac{\rho h}{2nf} \left(\frac{A_1}{3} (R^3 - r^3) + \frac{A_2}{2} (R^2 - r^2) + A_3 (R - r) \right) \right] \quad (19)$$

$$M_2 = M_\sigma + \frac{h}{2} d \sigma (R^2 - r^2) \quad (20)$$

$$M_3 = \int_r^R r dr d \varphi \rho g h f r = \frac{1}{3} \rho g h f d \varphi (R^3 - r^3) \quad (21)$$

$$M_4 = \int_r^R \sigma r n r dr d \varphi f r = f n d \varphi \left\{ -\sigma_0 R \frac{h}{2nf} \left[R + \frac{h}{2nf} - \left(r + \frac{h}{2nf} \right) e^{\frac{2nf}{h}(R-r)} \right] + \frac{\rho h^2}{4n^2 f^2} C^* \left[\left(R + \frac{h}{2nf} \right) e^{\frac{-2nf}{h} R} \left(r + \frac{h}{2nf} \right) e^{\frac{-2nf}{h} r} \right] + \frac{\rho h}{2nf} \left[\frac{A_1}{4} (R^4 - r^4) + \frac{A_2}{3} (R^3 - r^3) + \frac{A_3}{2} (R^2 - r^2) \right] \right\} \quad (22)$$

$$M_5 = n \sigma_0 d \varphi R h n f \quad (23)$$

$$M_6 = d \varphi r h n \sigma_r \lambda \sin \psi = n d \varphi h \lambda \sin \psi \left[\sigma_0 R e^{\frac{2nf}{h}(R-r)} - \frac{\rho h}{2nf} C^* e^{\frac{2nf}{h} r} + \frac{\rho h}{2nf} (A_1 r^2 + A_2 r + A_3) \right] \quad (24)$$

де λ - відстань між центрами зовнішнього і внутрішнього циліндрів;
 ψ - кут поворота ротора (внутрішнього циліндра);

$$M_7 = K \frac{dV}{V} S \cdot r_u = K \frac{h(R-r) r dr}{R+r} \quad (25)$$

де K - коефіцієнт сили опору [2,3];

V - об'єм виділеної ділянки;

S - площа поперечного перерізу каналу;

$$r = \sqrt{\lambda^2 + r_0^2 - 2\lambda r_0 \cos \psi} \quad (26)$$

$$dr = -\frac{\lambda r_0 \sin \psi}{\sqrt{\lambda^2 + r_0^2 - 2\lambda r_0 \cos \psi}} \quad (27)$$

$\frac{dV}{V}$ - відносний приріст об'єму ділянки;

$$\frac{d\varphi}{d\psi} = \frac{1 - \frac{\lambda}{r_0} \cos \psi}{1 + \left(\frac{\lambda}{r_0}\right)^2 - 2 \frac{\lambda}{r_0} \cos \psi} \quad (28)$$

$$\mathfrak{V} = \int_r^R h r dr d\varphi \rho r^2 = \rho h d\varphi \frac{R^4 - r^4}{4} \quad (29)$$

$$\mathfrak{L} = \frac{d^2 \varphi}{d\psi^2} \omega^2 = \frac{\left(1 + \frac{\lambda}{r_0}\right) \frac{\lambda}{r_0} \sin \psi}{\left(1 + \left(\frac{\lambda}{r_0}\right)^2 - 2 \frac{\lambda}{r_0} \cos \psi\right)^2} \quad (30)$$

Таким чином маємо:

$$\frac{d\sigma_0}{d\varphi} + \sigma_0 \frac{2R}{R^2 - r^2} \left[\left(r + \frac{h}{2nf} \right) \cdot e^{\frac{2nf}{h}(R-r)} - R - \frac{h}{2nf} + n(Rf + \right.$$

$$\left. + \lambda \sin \psi e^{\frac{2nf}{h}(R-r)} \right)] = -\frac{2\rho}{R^2 - r^2} \left\{ gf \left(\frac{R^3 - r^3}{3} \right) + \frac{h}{2nf} C^* x \right.$$

$$\left. + \left[\left(R + \frac{h}{2nf} \right) e^{\frac{-2nf}{h}R} + \left(R + \frac{h}{2nf} \right) e^{\frac{-2nf}{h}r} \right] + \frac{A_1}{4} (R^4 - r^4) + \frac{A_2}{3} (R^3 - r^3) + \right.$$

$$\left. + \frac{A_3}{2} (R^2 - r^2) - \frac{\lambda h}{2f} \sin \psi \left(C^* \cdot e^{\frac{-2nf}{h}r} + A_1 r^3 + A_2 r^2 + A_3 \right) \right\}$$

$$\left. - \frac{K 2 \lambda r_0 \sin \psi}{\sqrt{\lambda^2 + r_0^2 - 2 \lambda r_0 \cos \psi}} \cdot \frac{(R-r)}{8(R+r)} \cdot \frac{d\psi}{d\varphi} - \frac{\omega^2 (R^4 - r^4)}{4} \cdot \frac{d^2 \varphi}{d\psi^2} \right\} \quad (31)$$

Перейдемо до незалежної змінної ψ :

$$\frac{d\sigma_0}{d\psi} + P(\psi) \sigma_0 = Q(\psi) \quad (32)$$

де:

$$P(\psi) = -\frac{2R}{R^2 - r^2} \cdot \frac{d\varphi}{d\psi} \left[\left(r + \frac{h}{2nf} \right) \cdot e^{\frac{2nf}{h}(R-r)} - R - \frac{h}{2nf} + n(Rf + \right. \\ \left. + \lambda \sin \psi e^{\frac{2nf}{h}(R-r)} \right) \quad (33)$$

$$Q(\psi) = -\frac{2\rho}{R^2 - r^2} \cdot \frac{d\varphi}{d\psi} \left\{ gf \left(\frac{R^3 - r^3}{3} \right) + \frac{h}{2nf} C^* \cdot \right. \\ \left. \cdot \left[\left(R + \frac{h}{2nf} \right) e^{\frac{2nf}{h}R} + \left(r + \frac{h}{2nf} \right) e^{\frac{2nf}{h}r} \right] + \frac{A_1}{4} (R^4 - r^4) + \frac{A_2}{3} (R^3 - r^3) + \right. \\ \left. + \frac{A_3}{2} (R^2 - r^2) - \frac{\lambda h}{2f} \sin \psi \left(C^* \cdot e^{\frac{-2nf}{h}r} + A_1 r^2 + A_2 r + A_3 \right) \right\} + \\ + \frac{K 2 \lambda r_0 \sin \psi}{(R+r)^2} + \rho \frac{\omega^2}{2} (R^2 + r^2) \cdot \frac{d\varphi}{d\psi} \cdot \frac{d^2 \varphi}{d\psi^2} \quad (34)$$

Останнє рівняння інтегрується в квадратурах:

$$\sigma_0 = e^{-\int P(\psi) d\psi} \left(C + \int Q(\psi) e^{\int P(\psi) d\psi} \cdot d\psi \right) \quad (35)$$

Або з урахуванням граничної умови $\sigma(\psi)|_{\psi=\beta} = \sigma_\beta$:

$$\sigma(\psi) = e^{-\int_\beta^\psi P(\psi) d\psi} \left(\sigma_\beta + \int_\beta^\psi Q(\psi) e^{\int_\beta^\psi P(\psi) d\psi} \cdot d\psi \right) \quad (36)$$

Результати проведенного дослідження дають можливість визначати оптимальні параметри постачальних пристроїв кулісно-роторного типу з врахуванням фізико-механічних властивостей сипких матеріалів.

Література

1. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. -М.: Машиностроение. 1964.- 251с.
2. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. -М.: Машиностроение. 1968.-182с.
3. Орнатский Н.В. Механика грунтов. -М: Изд. МГУ. 1968.-447с.

УДК 621.317

Е.Е.Шульц, А.І.Котиш

Контроль ізоляції в розподільних мережах 10 кВ.

В мережах з ізолюваною або компенсованою нейтраллю для контролю ізоляції використовуються трансформатори напруги типу НТМІ. Та із-за недостатнього запасу електричної міцності ізоляції обмоток вони часто пошкоджуються при дугових замиканнях на землю. Для захисту трансформаторів типу НТМІ запропоновано ряд заходів: компенсація ємкісних струмів мережі; включення резистора між землею й нейтраллю первинної обмотки НТМІ; підключення додаткового резистора в ланцюг вторинної обмотки НТМІ, з'єднаної в розімкнутий трикутник. Та ні один з цих заходів не є універсальним захистом трансформатора.

Пошкодження НТМІ при дугових замиканнях на землю можливо виключити, якщо розімкнути нейтраль його первинної обмотки, тобто розімкнути шлях протікання струму нульової послідовності через цю обмотку. Але при розземленні нейтралі первинної обмотки трансформатора опиняться включеними не на фазні напруги, а на напруги фаз по відношенню до нульової точки системи міжфазних напруг. Вони на підміну від фазних напруг не містять складових нульової послідовності, тому вторинна обмотка НТМІ, з'єднана в розімкнутий трикутник, не може бути використана для контролю ізоляції мережі як фільтр напруги нульової послідовності.

Часті пошкодження НТМІ призвели до того, що ці трансформатори стали дефіцитними і в ряді випадків електричні мережі експлуатуються без контролю ізоляції. Для електроустаткування, яке залишилось без трансформаторів напруги, слід шукати нові шляхи контролю ізоляції.

Для контролю ізоляції може бути використана та обставина, що в кожній фазі НТМІ між його первинною і вторинною обмотками є в наявності деяка ємність. Так, для НТМІ-10-66 вона складає біля 100 пф. Вторинна обмотка НТМІ заземлена, тому міжобмоткові ємності трьох фаз утворюють зірку із заземленою нейтраллю. Заземлення здійснюється через обмотку реле. В нормальному режимі через реле протікає струм небаланса, а при замиканні на землю в первинній мережі струм різко зростає, що призводить до спрацювання реле. Однак така схема не вказує пошкодженій фазі.